

碳配额分配方式对独立再制造的影响

何新敬

(西南科技大学经济管理学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 分析政府不同碳配额分配方式对独立再制造的影响, 基于历史排放法和基准法建立原始设备制造商和独立再制造商之间的博弈模型, 比较两种不同的碳配额分配方式对闭环供应链成员的最优生产决策、利润及环境的影响。结果表明, 历史排放法下新产品销量较低, 再制造产品销量较高, 更有利于环境保护, 同时促进再制造产业发展。当总量碳配额和基准碳配额满足特定条件时, 原始设备制造商和独立再制造商在历史排放法下可以实现利润双赢。

关键词: 历史排放法; 基准法; 独立再制造; 博弈模型

中图分类号: F272 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)06-0320-06

随着全球气候变暖、资源短缺等问题日益严峻, 人们普遍认为可以通过减少碳排放来实现可持续发展的经济发展。碳交易作为一种市场化的减排机制, 通过对碳配额进行定量控制, 允许企业在碳交易市场买卖碳排放权, 进而激励企业进行碳减排投入^[1]。在碳交易机制下, 免费的碳配额分配方式主要包括历史排放法和基准法两种。在历史排放法下, 碳排放配额的分配是政府根据企业过去几年的平均碳排放数据来确定其碳排放配额, 而基准法则是根据行业或产品的特定排放标准来分配单位产品的碳排放配额^[2]。

再制造通过废旧产品的回收和再制造, 不仅能够延长产品的使用寿命, 还可以减少资源的消耗和环境污染^[3], 是一种环保的生产方式。据相关统计, 与新产品相比, 再制造产品可以节约 70% 的原材料, 降低 50% 的再制造生产成本, 实现 80% 的节能减排, 价格优势和减排效果明显^[4]。然而, 在进行再制造活动时, 原始设备制造商可能由于再制造产品收益较低、缺乏专用设备和技术等原因, 不愿意从事再制造, 此时独立再制造商为了从再制造生产中获取收益, 会选择进入市场, 进行废旧产品的回收处理与再制造生产活动^[5], 例如, 格林美公司专注于电子废弃物回收和循环利用, 柏科电机有限公司专注于汽车电机的再制造业务。然而由于在市场中, 新产品和再制造产品存在竞争关系, 再制造产品的销售会影响原始设备制造商的利润, 原始设备制造

商一般会选择加大碳减排技术投入, 以提高企业核心竞争力。因此, 在碳交易的背景下, 研究政府采用不同碳配额分配方式对原始设备制造商和独立再制造商生产决策的影响具有重要意义。

相关文献主要研究了碳配额分配方式对闭环供应链运营决策的影响以及独立再制造模式。针对碳配额分配方式对闭环供应链运营决策影响的研究主要有: 张煜和何雪峰^[6]构建由制造商和零售商组成的二级供应链, 基于碳配额机制, 分析供应链成员的减排决策; 夏西强等^[7]基于授权再制造模式, 分析政府不同的碳配额分配方式对闭环供应链成员运营决策的影响, 探究政府实施何种碳配额分配方式更有利于低碳产业的发展; Fang 等^[8]进一步构建了一个包含原始设备制造商和授权再制造商的闭环供应链模型, 比较历史排放法和基准法对企业最优生产决策、利润及环境的影响, 研究发现, 基准法下原始设备制造商的最优碳减排技术投资水平高于历史排放法下的碳减排技术投资水平。

针对独立再制造模式的研究主要有: 夏佳玉和马祖军^[9]基于 Stackelberg 博弈分别构建授权、外包和独立三种再制造模式下的闭环供应链决策模型, 分析当消费者对不同再制造模式的偏好存在差异时闭环供应链成员的最优决策; Dou 等^[10]在政府征收碳税的情形下, 探讨两期碳税调控对独立再制造模式下供应链成员生产决策的影响; 高鹏等^[11]通过构建原始制造商与独立再制造商的博弈模型, 探究

收稿日期: 2024-09-26

作者简介: 何新敬(2000—), 女, 河南漯河人, 硕士研究生, 研究方向为低碳供应链。

政府对再制造进行补贴时,独立再制造商进入市场的策略以及原始制造商在市场竞争中的应对策略。

综上所述,国内外学者针对碳配额分配方式对闭环供应链运营决策的影响以及独立再制造模式进行了深入的研究。但主要聚焦于原始设备制造商采取独立再制造模式后对闭环供应链成员生产决策的影响以及政府碳税或补贴政策对再制造的影响,较少有文献在碳交易背景下将不同的碳配额分配方式与独立再制造模式结合起来展开研究。因此,在碳交易背景下,本文基于政府不同的碳配额分配方式,构建原始设备制造商和独立再制造商博弈模型,研究历史排放法和基准法两种碳配额分配方式对两种产品制造商生产决策的影响,并进一步探究历史排放法和基准法对闭环供应链成员利润和环境的影响,旨在为政府、原始设备制造商和独立再制造商决策提供理论依据。

具体来说,本文主要研究了以下三个问题:一是政府不同碳配额分配方式对原始设备制造商和独立再制造商最优决策的影响;二是不同碳配额分配方式对环境的影响;三是独立再制造模式下,何种碳配额分配方式更有利于再制造产业的发展。基于上述问题,本文创新性主要体现在:一是对比分析两种不同的碳配额分配方式对闭环供应链成员的最优生产决策的影响,为原始设备制造商和独立再制造商在不同碳配额分配方式下的生产决策提供参考;二是分析政府实施两种碳配额分配方式对环境的影响,为政府针对独立再制造模式实施具体的碳交易政策,支持再制造产业的发展提供理论依据。

1 问题描述与假设

考虑构建一个由原始设备制造商和独立再制造

商组成的二级闭环供应链(图 1)。在这个闭环供应链中,原始设备制造商充当领导者的角色,主要负责新产品的生产和销售,是受碳交易政策约束的企业,独立再制造商作为跟随者,主要负责废旧产品的回收、再制造和销售活动,再制造产品相较于新产品而言,在生产成本和碳排放方面具有明显优势,是不受政府碳交易政策约束的企业。决策顺序为,原始设备制造商首先确定新产品的销量和碳减排水平,然后根据原始设备制造商的决策独立再制造商决定废旧产品的回收率。相关符号及具体含义如表 1 所示。

假设 1:参考 Guo 等^[12]、朱庆华等^[13]的研究,消费者在购买新产品时的支付意愿 θ 服从 $[0,1]$ 的均匀分布,购买再制造产品的支付意愿为 $\delta\theta$, $\delta \in (0,1)$ 为消费者对再制造产品的消费偏好系数,则消费者购买单位新产品和单位再制造产品的效用函数为: $u_n^i = \theta - p_n^i$, $u_r^i = \delta\theta - p_r^i$ 。对应的价格函数为: $p_n^i = 1 - q_n^i - \delta q_r^i$, $p_r^i = \delta(1 - q_n^i - q_r^i)$, 其中 $i \in \{G, B\}$ 。

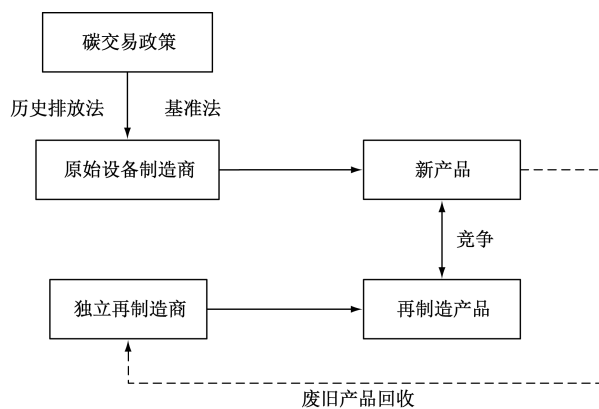


图 1 政府两种碳配额分配方式下独立再制造博弈模型

表 1 符号说明

符号	含义
n, r	分别表示原始设备制造商和独立再制造商
c_n, c_r	分别表示新产品与再制造产品的单位生产成本, $c_n > c_r$
p_n^i, p_r^i	分别表示模式 i 下新产品和再制品的单位零售价格, 其中 $i \in \{G, B\}$
q_n^i, q_r^i	分别表示模式 i 下新产品和再制品的销量, 其中 $i \in \{G, B\}$
π_n^i, π_r^i	分别表示模式 i 下原始设备制造商和独立再制造商的利润, 其中 $i \in \{G, B\}$
G, B	分别表示基于历史排放法和基于基准法的碳交易模式
e_n, e_r	分别表示单位新产品和单位再制造产品的碳排放量(即单位新产品和单位再制造产品对环境的影响, $e_n > e_r$)
t^i	表示模式 i 下原始设备制造商碳减排率, 其中 $i \in \{G, B\}$
E, α	分别表示历史排放法下的总量碳配额和基准法下的单位产品基准碳配额
h	表示原始设备制造商的碳减排成本系数
m	表示独立再制造商回收废旧产品的规模系数
p_e	表示单位碳排放权交易价格
τ^i	表示模式 i 下独立再制造商废旧产品回收率, 其中 $i \in \{G, B\}$
δ	表示消费者对再制品的消费偏好系数, $0 < \delta < 1$

假设 2: 参照 Zhang 等^[14] 的研究, 将独立再制造商回收废旧产品的成本表示为: $\frac{m}{2}q_r^i = \frac{m}{2}(\tau^i q_n^i)^2$, $i \in \{G, B\}$, m 为独立再制造商废旧产品回收的规模系数。

假设 3: 面对碳交易政策的压力, 原始设备制造商进行了一次性的碳减排技术投入, 参照 Yang 等^[15] 的研究, 将碳减排技术投入成本表示为: $\frac{h}{2}t^2$, h 为原始设备制造商碳减排成本系数。

2 模型构建与求解

2.1 历史排放法(模型 G)

当政府采用历史排放法向原始设备制造商设置总碳排放配额时, 原始设备制造商和独立再制造商的利润函数为

$$\pi_n^G = (p_n^G - c_n)q_n^G - \frac{1}{2}ht^{G^2} - [e_n(1 - t^G)q_n^G - E]p_e \quad (1)$$

$$\pi_r^G = (p_r^G - c_r)q_r^G - \frac{1}{2}m(\tau^G q_n^G)^2 \quad (2)$$

命题 1 在模型 G 中, 原始设备制造商和独立再制造商的最优决策为

$$t^{G*} = \frac{(m + 2\delta - \delta^2)e_n p_e + \delta e_n p_e c_r - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2 - (m + 2\delta)e_n p_e c_n}{2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (3)$$

$$\tau^{G*} = \frac{h\delta(m + 2\delta - \delta^2) - \delta(m + 2\delta)e_n^2 p_e^2 - h(2m + 4\delta - \delta^2)c_r}{(m + 2\delta)[h(m + 2\delta - \delta^2) + h\delta c_r - h(m + 2\delta)e_n p_e - h(m + 2\delta)c_n]} + \frac{e_n^2 p_e^2 c_r + h\delta e_n p_e + h\delta c_n}{h(m + 2\delta - \delta^2) + h\delta c_r - h(m + 2\delta)e_n p_e - h(m + 2\delta)c_n} \quad (4)$$

$$q_n^{G*} = \frac{h(m + 2\delta - \delta^2) + h\delta c_r - h(m + 2\delta)e_n p_e - h(m + 2\delta)c_n}{2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (5)$$

$$q_r^{G*} = \frac{h\delta(m + 2\delta - \delta^2) - \delta(m + 2\delta)e_n^2 p_e^2 - h(2m + 4\delta - \delta^2)c_r + (m + 2\delta)[2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2]}{2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2} + \frac{e_n^2 p_e^2 c_r + h\delta e_n p_e + h\delta c_n}{2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (6)$$

$$p_n^{G*} = \frac{h(m + 2\delta - \delta^2)^2 - (m + 2\delta)(m + 2\delta - \delta^2)e_n^2 p_e^2 + h\delta(m + 2\delta - \delta^2)c_r + (m + 2\delta)[2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2]}{(m + 2\delta)[2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2]} + \frac{h(m + 2\delta - \delta^2)e_n p_e + h(m + 2\delta - \delta^2)c_n - \delta e_n^2 p_e^2 c_r}{2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (7)$$

$$p_r^{G*} = \frac{h\delta(m + \delta)(m + 2\delta - \delta^2) - \delta(m + \delta)(m + 2\delta)e_n^2 p_e^2 + h\delta(2m + 4\delta - 3\delta^2 - m\delta)c_r + (m + 2\delta)[2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2]}{(m + 2\delta)[2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2]} + \frac{h\delta(m + \delta)e_n p_e + h\delta(m + \delta)c_n - \delta e_n^2 p_e^2 c_r}{2h(m + 2\delta - \delta^2) - (m + 2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (8)$$

$$\pi_n^{G*} = (p_n^{G*} - c_n)q_n^{G*} - \frac{1}{2}ht^{G*2} - [e_n(1 - t^{G*})q_n^{G*} - E]p_e \quad (9)$$

$$\pi_r^{G*} = (p_r^{G*} - c_r)q_r^{G*} - \frac{1}{2}mq_r^{G*2} \quad (10)$$

证明: 通过逆向归纳方法, 对 π_r^G 求关于 τ^G 的一阶和二阶偏导数, 由 $\frac{\partial^2 \pi_r^G}{\partial \tau^{G2}} < 0$ 可知, π_r^G 关于 τ^G 是凹函数, 令 $\frac{\partial \pi_r^G}{\partial \tau^G} = 0$, 可得 $\tau^G = \frac{\delta - \delta q_n^G - c_r}{(m + 2\delta)q_n^G}$ 。将其带入式(1), 求得 π_n^G 关于 q_n^G, t^G 的海瑟矩阵: $H^G =$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_n^G}{\partial q_n^{G2}} & \frac{\partial^2 \pi_n^G}{\partial q_n^G \partial t^G} \\ \frac{\partial^2 \pi_n^G}{\partial t^G \partial q_n^G} & \frac{\partial^2 \pi_n^G}{\partial t^{G2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2\delta^2}{m + 2\delta} - 2 & e_n p_n \\ e_n p_n & -h \end{bmatrix}, \text{ 当 } h >$$

$\frac{(m + 2\delta)e_n^2 p_e^2}{2(m + 2\delta - \delta^2)}$ 时, 海瑟矩阵负定, 此时, π_n^G 是关于

q_n^G, t^G 的严格凹函数, 令 $\frac{\partial \pi_n^G}{\partial q_n^G} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_n^G}{\partial t^G} = 0$, 可得最优解 q_n^{G*} 和 t^{G*} , 进而可以求得 $\tau^{G*}, q_r^{G*}, p_n^{G*}, p_r^{G*}, \pi_n^{G*}$ 和 π_r^G 。命题 1 得证。

2.2 基准法(模型 B)

当政府采用基准法向原始设备制造商设置单位产品碳排放配额时, 原始设备制造商和独立再制造商的利润函数为

$$\pi_n^B = (p_n^B - c_n)q_n^B - \frac{1}{2}ht^{B2} - [e_n(1 - t^B) - \alpha]q_n^B p_e \quad (11)$$

$$\pi_r^B = (p_r^B - c_r)q_r^B - \frac{1}{2}m(\tau^B q_n^B)^2 \quad (12)$$

命题 2 在模型 B 中, 原始设备制造商和独立再制造商的最优决策为

$$t^{B*} = \frac{(m+2\delta-\delta^2)e_n p_e + \delta e_n p_e c_r - (m+2\delta)(e_n - \alpha)e_n p_e^2 - (m+2\delta)e_n p_e c_n}{2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (13)$$

$$\tau^{B*} = \frac{h\delta(m+2\delta-\delta^2) - \delta(m+2\delta)e_n^2 p_e^2 - h(2m+4\delta-\delta^2)c_r}{(m+2\delta)[h(m+2\delta-\delta^2) + h\delta c_r - h(m+2\delta)(e_n - \alpha)e_n p_e - h(m+2\delta)c_n]} + \frac{e_n^2 p_e^2 c_r + h\delta(e_n - \alpha)p_e + h\delta c_n}{h(m+2\delta-\delta^2) + h\delta c_r - h(m+2\delta)(e_n - \alpha)e_n p_e - h(m+2\delta)c_n} \quad (14)$$

$$q_n^{B*} = \frac{h(m+2\delta-\delta^2) + h\delta c_r - h(m+2\delta)(e_n - \alpha)p_e - h(m+2\delta)c_n}{2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (15)$$

$$q_r^{B*} = \frac{h\delta(m+2\delta-\delta^2) - \delta(m+2\delta)e_n^2 p_e^2 - h(2m+4\delta-\delta^2)c_r}{(m+2\delta)[2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2]} + \frac{e_n^2 p_e^2 c_r + h\delta(e_n - \alpha)p_e + h\delta c_n}{2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (16)$$

$$p_n^{B*} = \frac{h(m+2\delta-\delta^2)^2 - (m+2\delta)(m+2\delta-\delta^2)e_n^2 p_e^2 + h\delta(m+2\delta-\delta^2)c_r}{(m+2\delta)[2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2]} + \frac{h(m+2\delta-\delta^2)(e_n - \alpha)p_e + h(m+2\delta-\delta^2)c_n - \delta e_n^2 p_e^2 c_r}{2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (17)$$

$$p_r^{B*} = \frac{h\delta(m+\delta)(m+2\delta-\delta^2) - \delta(m+\delta)(m+2\delta)e_n^2 p_e^2 + h\delta(2m+4\delta-3\delta^2-md)c_r}{(m+2\delta)[2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2]} + \frac{h\delta(m+\delta)(e_n - \alpha)p_e + h\delta(m+\delta)c_n - \delta e_n^2 p_e^2 c_r}{2h(m+2\delta-\delta^2) - (m+2\delta)e_n^2 p_e^2} \quad (18)$$

$$\pi_n^{B*} = (p_n^{B*} - c_n)q_n^{B*} - \frac{1}{2}ht^{B*2} - [e_n(1-t^{B*}) - \alpha]q_n^{B*} p_e \quad (19)$$

$$\pi_r^{B*} = (p_r^{B*} - c_r)q_r^{B*} - \frac{1}{2}mq_r^{B*2} \quad (20)$$

证明过程与模型 G 求解过程类似。

3 模型分析

结论 1 单位碳交易价格对独立再制造模式下碳配额不同分配方式最优解的影响如下:

$$(i) \frac{\partial p_n^{G*}}{\partial p_e} > 0, \frac{\partial p_r^{G*}}{\partial p_e} > 0, \frac{\partial q_n^{G*}}{\partial p_e} < 0, \frac{\partial q_r^{G*}}{\partial p_e} > 0;$$

$$(ii) \text{当 } e_n - \alpha > 0 \text{ 时, } \frac{\partial p_n^{B*}}{\partial p_e} > 0, \frac{\partial p_r^{B*}}{\partial p_e} > 0, \frac{\partial q_n^{B*}}{\partial p_e} <$$

$$0, \frac{\partial q_r^{B*}}{\partial p_e} > 0; \text{当 } e_n - \alpha < 0 \text{ 时, } \frac{\partial p_n^{B*}}{\partial p_e} < 0, \frac{\partial p_r^{B*}}{\partial p_e} < 0,$$

$$\frac{\partial q_n^{B*}}{\partial p_e} > 0, \frac{\partial q_r^{B*}}{\partial p_e} < 0.$$

结论 1 表明,在历史排放法下,碳交易价格与两种产品价格呈正相关,与新产品的销量呈负相关,与再制造产品的销量呈正相关。这是因为碳交易价格的上涨会增加原始设备制造商生产过程中的碳排放成本,为减少利润的损失,原始设备制造商会提高新产品的价格,此时独立再制造商为获取更多的利润也会提高再制造产品的价格,但由于再制造产品相较于新产品的价格较低,消费者会增加对再制造产品的购买,降低对新产品的购买,因此新产品的销量下降,再制造产品的销量增加。

在基准法下,对于单位产品碳排放量大于基准

碳配额的企业,碳交易价格与两种产品价格呈正相关,与新产品的销量呈负相关,与再制造产品的销量呈正相关;对于单位产品碳排放量小于基准碳配额的企业,碳交易价格与两种产品价格呈负相关,与新产品的销量呈正相关,与再制造产品的销量呈负相关。这是因为对于高碳排放的企业,碳交易价格的提高会促使原始设备制造商提高新产品的价格以减少利润的损失,以及独立再制造商提高再制造产品的价格以获得更多的利润,消费者对于新产品的需求减少,同时由于市场竞争,消费者对再制造产品的需求增加;而对于低碳排放的企业,碳交易价格的提高对原始设备制造商的生产并不会造成成本负担,反而是一种激励,原始设备制造商和独立再制造商会降低产品价格以获得更多的利润,实现薄利多销,此时相对于新产品,再制造产品的绿色优势不明显,消费者会减少对再制造产品的购买,增加对新产品的购买。

结论 2 碳配额不同分配方式下原始设备制造商碳减排率的大小关系为: $t^{G*} < t^{B*}$ 。

结论 2 表明,基准法下原始设备制造商的碳减排率更高。这是因为,政府采取历史排放法时,是以企业历年的碳排放数据为标准,向原始设备制造商设定总的碳排放配额,此时原始设备制造商为达到政府的碳排放要求,倾向于减少新产品的生产产

量,因此其对生产新产品投入碳减排技术的动力较小。相比之下,在基准法下,政府向原始设备制造商生产的新产品以单位设置碳排放配额,能够激励原始设备制造商对生产的新产品进行减排投资,因此与历史排放法相比,基准法下原始设备制造商的减排动力更强,碳减排率也更高。此外,在现实生活中存在差异化的碳配额分配方式,例如,北京对服务、石化等行业采用历史排放法分配碳配额,对水泥、电力等行业采用基准法分配碳配额,因此政府可以针对原始设备制造商不同的碳减排技术投入采取差异化的碳配额分配方式,进一步提高碳配额分配的有效性。

结论 3 碳配额不同分配方式下新产品和再制造产品价格的大小关系为: $p_n^{G*} > p_n^{B*}$, $p_r^{G*} > p_r^{B*}$ 。

结论 3 表明,新产品和再制造产品的价格在历史排放法下更高。结合结论 2,原始设备制造商在历史排放法下的碳减排率较低,为满足政府的碳排放约束,原始设备制造商倾向于增加新产品的价格以减少消费者对新产品的购买,进而减少产量,此时独立再制造商为获取更多的收益也会增加再制造产品的价格。而在基准法下,原始设备制造商的碳减排率较高,倾向于增加碳减排技术的投入来满足满足政府的碳排放约束而不是调整价格,因此基准法下两种产品的价格较低。

结论 4 碳配额不同分配方式下新产品和再制造产品销量的大小关系为: $q_n^{G*} < q_n^{B*}$, $q_r^{G*} > q_r^{B*}$ 。

结论 4 表明,历史排放法下再制造产品的销量更高,基准法下新产品的销量更高。结合结论 3,基准法下新产品价格低于历史排放法下新产品的价格,因此,在历史排放法下消费者会减少对新产品的购买,同时由于两种产品存在市场竞争,再制造产品的销量会因为新产品销量的降低而增加,因此在历史排放法下,消费者对再制造产品的购买量大于基准法下消费者对再制造产品的购买量。

结论 5 碳配额不同分配方式下原始设备制造商和独立再制造商利润的大小关系为

(i) 当 $E > 2h(m+2\delta)(1-c_n-e_n p_e)\alpha C + h(m+2\delta)\alpha^2 p_e C - 2h\delta^2 \alpha A - 2h\delta \alpha D / C^2$ 时, $\pi_n^{G*} > \pi_n^{B*}$;

(ii) 当 $\alpha < \frac{(\delta-c_r)C-\delta A}{h\delta(m+2\delta)p_e}$ 时, $\pi_r^{G*} > \pi_r^{B*}$ 。

式中:为方便计算,令 $A = 2h(m+2\delta-\delta^2) + 2h\delta c_r - 2h(m+2\delta)e_n p_e - 2h(m+2\delta)c_n$, $C = 4h(m+2\delta-\delta^2) - 2(m+2\delta)e_n^2 p_e^2$, $D = 2h\delta(m+2\delta-\delta^2) - 2\delta(m+2\delta)e_n^2 p_e^2 - 2h(2m+4\delta-\delta^2)c_r + 2(m+2\delta)e_n^2 p_e^2 c_r +$

$2h\delta(m+2\delta)e_n p_e + 2h\delta(m+2\delta)c_n$ 。

结论 5 表明,当总量碳排放配额大于某一特定值和基准碳排放配额小于某一特定值时,原始设备制造商的利润和独立再制造商的利润在历史排放法下更高。这是因为,在历史排放法下,原始设备制造商所受到的碳排放约束会随着政府设置的总量碳配额的增加而减小,此时原始设备制造商提高新产品生产产量需要支付较小的碳排放成本,原始设备制造商销售新产品所获得的利润更高,而在基准法下,原始设备制造商新产品的碳排放量会受到单位产品碳排放配额的约束,当单位产品的基准碳排放配额较小时,原始设备制造商为满足政府的碳排放要求会增加对碳减排技术的投入,此时再制造产品的绿色优势不明显,再制造产品的销量会受到影响,因此基准法下独立再制造商的利润更低。

政府设置碳配额约束的目的是降低产品对环境的影响,因此参考夏西强等^[5]的做法,将新产品和再制造产品对环境产生的影响表示为: $E^* = e_n(1-t)q_n^{i*} + e_r q_r^{i*}$, $i \in \{G, B\}$ 。

结论 6 碳配额不同分配方式下对环境产生的影响的大小关系为: $E^{G*} < E^{B*}$ 。

结论 6 表明,新产品和再制造产品对环境产生的影响在历史排放法下更低。由于产品销量是影响碳排放总量的主要因素,且与新产品相比,再制造产品具有低碳排放的优势,因此新产品的销量越高对环境产生的影响越大,结合结论 4,基准法下新产品的销量较高,对环境产生的影响较大。因此,在历史排放法下,新产品和再制造产品对环境产生的影响要小于基准法下对环境产生的影响。

4 结论与展望

为探究政府不同碳配额分配方式对独立再制造模式的影响,通过构建原始设备制造商和独立再制造商之间的博弈模型,分析历史排放法和基准法两种模型下闭环供应链成员的最优决策,同时考察了碳交易价格对闭环供应链成员最优决策的影响。可得出以下结论。

(1) 碳配额分配方式影响原始设备制造商与独立再制造商的最优决策。政府采用历史排放法时,由于原始设备制造商缺乏减排动机,其倾向于提高新产品价格来降低销量,以满足政府碳排放标准,由于市场竞争,消费者会增加对再制造产品的购买,再制造产品销量增加,因此,历史排放法更有利于再制造产业的发展。

(2)在历史排放法下新产品的销量较低,再制造产品的销量较高,同时由于再制造产品相较于新产品具有更低的碳排放优势,即新产品对环境造成的影响更大,因此,历史排放法下两种产品对环境产生的影响较小,更有利于保护环境。此外,当总量碳配额大于某一特定值和基准碳配额小于某一特定值时,政府采用历史排放法可以实现原始设备制造商和独立再制造商利润最大化。

(3)对于单位产品碳排放量大于基准碳排放配额的企业,碳交易价格与新产品的销量呈负相关关系,与再制造产品的销量呈正相关关系;对于单位产品碳排放量小于基准碳排放配额的企业,碳交易价格与新产品的销量呈正相关关系,与再制造产品的销量呈负相关关系。随着碳交易价格的增加,能够促进高碳排放企业回收再制造,提高资源的利用效率,促进再制造产业的发展,进一步降低对环境产生的影响。

关于政府的碳交易政策,只考虑了新产品受到碳排放的约束,未来的研究中可以考虑新产品和再制造产品同时受到政府碳排放的约束。此外,未来还可以进一步考虑存在两个或者两个以上第三方再制造商相互竞争的情形。

参考文献

- [1] 夏良杰,孔清逸,李友东,等.考虑交叉持股的低碳供应链减排与定价决策研究[J].中国管理科学,2021,29(4): 70-81.
- [2] JI J N, ZHANG Z Y, YANG L. Comparisons of initial carbon allowance allocation rules in an O2O retail supply chain with the cap-and-trade regulation[J]. International Journal of Production Economics, 2017, 187: 68-84.
- [3] 夏西强,朱庆华.外包再制造下再制造设计对制造/再制造影响[J].中国管理科学,2019,22(9): 97-122.
- [4] YANG L, WANG G Y, KE C X. Remanufacturing and promotion in dual-channel supply chains under cap-and-trade regulation[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 204: 939-957.
- [5] 夏西强,路梦圆,郭磊.碳交易下碳配额分配方式对制造/再制造影响研究[J].系统工程理论与实践,2022,42(11): 3001-3015.
- [6] 张煜,何雪峰.碳配额机制下绿色供应链决策及收益分享合同研究[J].科技和产业,2023,23(21): 143-148.
- [7] 夏西强,陈俊,朱庆华,等.碳配额分配方式对授权再制造影响及协调机制研究[J].系统工程理论与实践,2023,43(9): 2632-2655.
- [8] FANG Y L, REN Z Y, YANG F. The impact of carbon allowance allocation rules on remanufacturing decisions in a closed-loop supply Chain[J]. Mathematics, 2023, 11(13): 2817.
- [9] 夏佳玉,马祖军.OEM代工模式下品牌厂商的再制造策略[J].工业工程与管理,2021,26(4): 168-176.
- [10] DOU G W, GUO H N, ZHANG Q Y, et al. A two-period carbon tax regulation for manufacturing and remanufacturing production planning[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 128: 502-513.
- [11] 高鹏,杜建国,陆玉梅,等.政府再制造补贴对独立再制造商市场进入及产品质量决策的影响[J].计算机集成制造系统,2021,27(8): 2426-2436.
- [12] GUO J Y, WU R, WANG W, et al. How carbon trading influences manufacturing/remanufacturing? a coordination mechanism design based on outsourced remanufacturing [J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 442: 141073.
- [13] 朱庆华,夏西强,李幻云.政府补贴与专利费用下制造与再制造博弈模型[J].系统工程学报,2017,32(1): 8-18.
- [14] ZHANG Y L, ZHANG J R, ZHOU Y J, et al. Block chain adoption and mode selection strategies for remanufacturing supply chain under cap-and-trade policy[J]. Computers & Industrial Engineering, 2024, 192: 110246.
- [15] YANG L, JI J N, WANG M Z, et al. The manufacturer's joint decisions of channel selections and carbon emission reductions under the cap-and-trade regulation[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 193: 506-523.

Impact of Carbon Allowance Allocation Rules on Independent Remanufacturing

HE Xinjing

(School of Economics and Management, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: In order to analyze the impacts of different carbon allowance allocation rules of the government on independent remanufacturing, a game model between an original equipment manufacturer and an independent remanufacturer was established based on the grandfathering rule and the benchmarking rule. The impacts of the two different carbon allowance allocation rules on the optimal production decisions, profits, and the environment of the members of the closed-loop supply chain were compared. The results show that the lower sales of new products and the higher sales of remanufactured products under the grandfathering rule are more friendly to environmental protection while promoting the development of the remanufacturing industry. The original equipment manufacturer and the independent remanufacturer can realize a win-win profit in the grandfathering rule when the total carbon quota and baseline carbon quota meet specific requirements.

Keywords: grandfathering rule; benchmarking rule; independent remanufacturing; game modeling